

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до практичних занять**  
**і самостійної роботи**

**з навчальної дисципліни**

**«ІНЖЕНЕРНА ЛІТОЕКОЛОГІЯ МІСТ»**

*(для студентів 5 курсу денної і 5-6 курсу заочної форм навчання  
напрямку підготовки 0708 «Екологія» спеціальності  
7.04010601 «Екологія та охорона навколишнього середовища»)*

**ХАРКІВ**  
**ХНАМГ**  
**2011**

Методичні вказівки до практичних занять і самостійної роботи з навчальної дисципліни «Інженерна літоекологія міст» (для студентів 5 курсу денної і 5-6 курсу заочної форм навчання напряму підготовки 0708 «Екологія» спеціальності 7.04010601 «Екологія та охорона навколишнього середовища») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: К. Д. Бригінець, Д. В. Дядін. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 25 с.

Укладачі: К. Д. Бригінець,  
Д. В. Дядін

Рецензент: д-р техн. наук, професор, зав. кафедри ІЕМ Ф. В. Стольберг

Рекомендовано кафедрою Інженерної екології міст,  
протокол № 1 від 30.08.2010 р.

# ЗМІСТ

Стор.

<b>1. Техногенне перетворення геологічного середовища.....</b>	<b>4</b>
1.1 Визначення фільтраційних параметрів зворотного фільтру та проектування його гранулометричного складу .....	4
Загальна характеристика та призначення зворотних фільтрів .....	4
Методика проектування зворотних фільтрів.....	4
Методика оцінки суфозійності ґрунту .....	5
Методика розрахунку гранулометричного складу зворотного фільтра .....	7
Приклад оцінки суфозійності ґрунту та розрахунку параметрів зворотного фільтра .....	10
1.2 Проектування дренажу для зниження рівня ґрунтових вод.....	14
Загальні засади гідрогеологічних розрахунків дренажних систем .....	14
Розрахунки конструкції горизонтального систематичного дренажу.....	15
Приклад розрахунку дренажної системи .....	17
<b>2. Інженерно – геологічний і геолого – екологічний прогноз на базі моніторингу .....</b>	<b>19</b>
2.1 Основи визначення інженерно-геологічних ризиків .....	19
2.2 Визначення нормативних і розрахункових значень характеристик ґрунтів при інженерно-геологічних вишукуваннях .....	21
<b>Перелік питань до самостійної підготовки .....</b>	<b>24</b>
<b>Список рекомендованих джерел .....</b>	<b>25</b>

## **1. Техногенне перетворення геологічного середовища**

### **1.1 Визначення фільтраційних параметрів зворотного фільтру та проектування його гранулометричного складу**

#### ***Загальна характеристика та призначення зворотних фільтрів***

Для запобігання випору в місцях виходу висхідного фільтраційного потоку на поверхню при вихідних градієнтах, що перевищують критичні, передбачають влаштування привантаження з водопроникного грубозернистого ґрунту.

Для запобігання небезпеки механічної суфозії між дрібнозернистим і грубозернистим матеріалом влаштовують зворотний фільтр – проміжні шари, які сполучають дрібнозернистий ґрунт, що захищається, з грубозернистим ґрунтом (дренажем). Зворотні фільтри можуть бути самостійними конструкціями або бути частиною дренажів (наслонних, трубчастих, кам'яних банкетів та ін.).

У якості матеріалу для влаштування зворотних фільтрів використовують незв'язні природні або штучні ґрунти, які представляють собою тверді гірські породи, що не містять водорозчинні солі і не піддаються вивітрюванню. До таких ґрунтів відносять піщані, гравійно-галькові породи, щебінь, відходи каменедробильних заводів і т. п.

#### ***Методика проектування зворотних фільтрів***

При проектуванні зворотного фільтру вирішують такі задачі:

- встановлюють розрахункові параметри ґрунтів, що захищаються зворотними фільтрами: гранулометричний склад, пористість, щільність ґрунту і частинок ґрунту, коефіцієнт фільтрації;
- дають оцінку суфозійності ґрунтів;
- визначають гранулометричний склад першого і наступного шарів зворотного фільтру;
- визначають водопроникність ґрунтів запроектованих зворотних фільтрів;
- встановлюють товщину і кількість шарів зворотних фільтрів.

Проектований гранулометричний склад зворотних фільтрів має забезпечити виконання наступних умов:

- неможливість потрапляння частинок ґрунту, що захищається, до фільтру, а також частинок самого фільтру до дренажу або кам'яного накиду. Ця умова забезпечується в тому випадку, якщо в контактній області між ними утворюються стійкі склепіння з дрібних частинок (рис. 1.1).

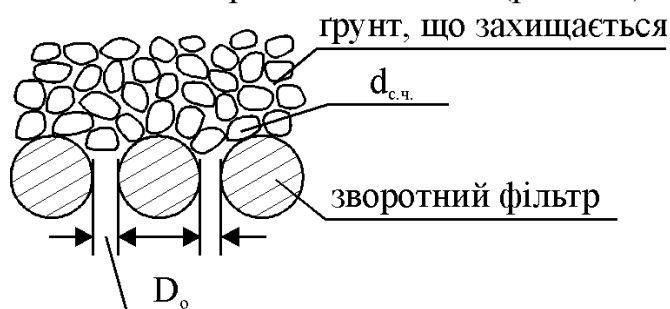


Рис.1.1 Схема контактної області дрібнозернистого ґрунту і фільтра:  $D_0$  – середній діаметр пор у шарі фільтра,  $d_{с.ч.}$  – діаметр частинок, що утворюють склепіння в області контакту ґрунту з фільтром

- запобігання явищ механічної суфозії в ґрунті, що захищається;
- неcolmатуємість фільтра дрібними частинками в разі їх виносу фільтраційним потоком з ґрунту, що захищається. Такі частинки в кількості не більше 3% повинні проноситися через фільтр фільтраційним потоком.

Кольматаж – відкладення в порах ґрунту дрібних частинок, які несе фільтраційний потік.

Для несуфозійного ґрунту, що захищається, достатньо забезпечити умови непросипності частинок ґрунту до фільтру.

### ***Методика оцінки суфозійності ґрунту***

1. У напівлогарифмічному масштабі будують графік інтегральної кривої гранулометричного складу ґрунту, що захищається, на горизонтальній осі якого відкладають діаметр частинок, а на вертикальній – сумарний вміст частинок фракцій. Побудову графіка можна здійснювати як звичайним способом на розкресленій напівлогарифмічній основі, так і засобами відповідних комп'ютерних програм (MS Excel, Grapher та ін.).

2. Використовуючи побудований графік, розраховують коефіцієнт неоднорідності (різномірності) ґрунту, який представляє собою співвідношення:

$$\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1)$$

де  $d_{60}$  и  $d_{10}$  – діаметри частинок, менше яких у ґрунті міститься відповідно 60 и 10 % частинок за масою.

1. Максимальний діаметр порового каналу розраховують за формулою:

$$d_{\max}^0 = 0,455 \chi \cdot \sqrt[6]{\eta} \cdot \frac{n}{1-n} \cdot d_{17} \quad [\text{см}] \quad (2)$$

де  $\chi$  – коефіцієнт локальності суфозії, який залежить від коефіцієнта неоднорідності ґрунту і визначається за залежністю  $\chi = 1+0,05\eta$ ;

$\eta$  – коефіцієнт неоднорідності (різномірності) ґрунту, який дорівнює відношенню  $d_{60}/d_{10}$  ;

$n$  – ефективна пористість ґрунту, частка од.;

$d_{17}$  – діаметр частинок, менше якого в ґрунті міститься 17 % частинок за масою, см.

2. Максимальний діаметр суфозійних частинок  $d_{\max}^c$  розраховують за формулою:

$$d_{\max}^c = 0,77 d_{\max}^0 \quad [\text{см}] \quad (3)$$

3. Відсотковий вміст суфозійних частинок знаходять за кривою гранулометричного складу ґрунту в залежності від їх максимального діаметру.

4. Розрахунок критичної швидкості суфозії проводять за формулою:

$$V_{\text{кр.}}^c = \varphi_0 d_{\max}^c \sqrt{\frac{n \cdot g}{\nu}} K \quad [\text{см/с}] \quad (4)$$

де  $d_{\max}^c$  – максимальний діаметр суфозійних частинок, см;

$n$  – ефективна пористість ґрунту, частки од.;

$g$  – прискорення сили тяжіння,  $\text{см/с}^2$ ;

$\nu$  – кінематичний коефіцієнт в'язкості,  $\text{см}^2/\text{с}$ ;

$K$  – коефіцієнт фільтрації,  $\text{см/с}$ ;

$\varphi_0$  – коефіцієнт критичної швидкості:

$$\varphi_c = 0,6 \left( \frac{\rho_{с.г.}}{\rho_v} - 1 \right) f^* \cdot \sin \left( 30^\circ + \frac{\Theta}{8} \right) \quad (5)$$

де  $\rho_{с.г.}$  – щільність сухого ґрунту, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_v$  – щільність води, г/см<sup>3</sup>;

$\Theta$  – кут між напрямками швидкості фільтрації і сили тяжіння;

$f^*$  – приведений коефіцієнт тертя, який визначається за залежністю:

$$f^* = 0,82 - 1,8n + 0,0062 (\eta - 5) \quad (6)$$

Якщо при розрахунку виявиться, що фактична швидкість фільтрації менша критичної, то відповідно формулі (4) визначають максимальний діаметр суфозійних частинок (см), для яких фактична швидкість фільтрації буде критичною:

$$d_{max}^c = \frac{V_\phi}{\varphi_c \sqrt{\frac{n \cdot g}{v} K}} \quad [см] \quad (7)$$

Відсотковий вміст таких частинок визначають за кривою гранулометричного складу ґрунту.

### ***Методика розрахунку гранулометричного складу зворотного фільтра***

1.  $d_{17}$  матеріалу зворотного фільтра, що забезпечує непросипність ґрунту, який захищається, визначають зі співвідношення:

$$d_{17} = \frac{1}{0,252 \cdot \sqrt{\eta_\phi}} \cdot \frac{1 - n_\phi}{n_\phi} \cdot d_{с.ч.} \quad [см] \quad (8)$$

де  $\eta_\phi$  – коефіцієнт неоднорідності матеріалу фільтра;

$n_\phi$  – пористість матеріалу фільтра,

$d_{с.ч.}$  – діаметр склепіннеутворюючих частинок у контактній області, см

2. Значення коефіцієнтів неоднорідності ґрунтів зворотних фільтрів призначають із наступних умов:

для несуфозійних ґрунтів

$$\eta_{\phi} \leq \frac{d_{60}}{d_{10}} \leq 25 \quad (9)$$

для суфозійних ґрунтів

$$\eta_{\phi} \leq \frac{d_{60}}{d_{10}} \leq 15 \quad (10)$$

3. Пористість матеріалу приймають виходячи з залежності:

$$n_{\phi} = n_0 - 0,1 \lg \eta_{\phi} \quad (11)$$

де для щебневих ґрунтів  $n_0 = 0,45$ , для піщано-гравійно-галечникових – 0,40.

Розрахункове значення діаметра склепіннеутворюючих частинок для суфозійного ґрунту визначають за формулою:

$$d_{\text{с.ч.}}^{\text{расч.}} = B \cdot d_3 \quad [\text{мм}] \quad (12)$$

де для щебеневого матеріалу фільтра  $B = 3 \dots 8$ , для піщано-гравійного матеріалу  $B = 3 \dots 5$ .

4. Гранулометричний склад зворотного фільтра знаходять за наступними експериментальними залежностями, використовуючи значення  $d_{17}$  (мм):

$$d_{\min} = \frac{d_{17}}{1 + (0,1 P_{17})^{\%} \cdot \frac{\eta_{\phi} - 1}{5 \eta_{\phi}}} \quad [\text{мм}] \quad (13)$$

$$d_i = d_{\min} + d_{\min} \cdot (0,1 P_i)^{\%} \cdot \frac{\eta_{\phi} - 1}{5 \eta_{\phi}} \quad [\text{мм}] \quad (14)$$

де  $d_{\min}$ ,  $d_i$  – відповідно мінімальний і  $i$ -й діаметр частинок ґрунту зворотного фільтра;

$d_{17}$  – діаметр частинок зворотного фільтра, менше якого у ґрунті міститься 17 % за масою;

$\eta_{\phi}$  – коефіцієнт неоднорідності матеріалу фільтра;



$P_i$  – відсоткове співвідношення у ґрунті частинок, які мають діаметр менший  $d_i$ ;  $P_{17} = 17$ ; для  $d_{10} - P_{10} = 10$ ; для  $d_{20} - P_{20} = 20$  і т. д.;

$$\chi = 1 + 1,28 \lg \eta_{\phi}.$$

Задаючись різними значеннями  $P_i$ , знаходять відповідні значення  $d_i$ . За значеннями  $d_{\min}$ ,  $d_{10}$ ,  $d_{20} \dots d_{100}$  будують розрахункову криву гранулометричного складу першого шару зворотного фільтра.

5. Коефіцієнт фільтрації зворотного фільтра визначають за залежністю М.П. Павчича:

$$K = \frac{3,99 \phi_1}{\nu} \cdot \sqrt[3]{\eta} \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot d_{17}^2 \quad [\text{см/сек}] \quad (15)$$

де  $\phi_1$  – коефіцієнт, який враховує форму і шорсткість частинок; для піщано-гравелистих ґрунтів  $\phi_1 = 1,0$ ; для щебневих ґрунтів  $\phi_1 = 0,35 \dots 0,40$ ;  $\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості ( $\text{см}^2/\text{с}$ );  $n$  – ефективна пористість ґрунту;  $\eta$  – коефіцієнт неоднорідності ґрунту;  $d_{17}$  – діаметр частинок, менше якого у ґрунті міститься 17 % за масою, см.

6. Товщину шару зворотного фільтра знаходять за умовами фільтрації зі співвідношення:

$$T_{\min} \geq 5 \dots 7 d_{85} \quad (16)$$

де  $T_{\min}$  – мінімальна товщина шару зворотного фільтра за фільтраційними умовами,  $d_{85}$  – розмір частинок, менше яких у ґрунті фільтра міститься 85 % за масою.

За умовами виконання робіт при механізованім укладанні товщина фільтра має бути не менше 20 см. При відсипанні в воду для одношарового фільтра товщина не менше 75 см, для багатошарового – 50 см.

Число шарів зворотного фільтра визначають у кожному конкретному випадку з умови непротікання частинок першого шару у другий і матеріалу фільтра у дренаж або кам'яний накид.

## ***Приклад оцінки суфозійності ґрунту та розрахунку параметрів зворотного фільтра***

### **Завдання**

Дати оцінку суфозійності ґрунту, підібрати гранулометричний склад зворотного фільтра, який запобігає фільтраційній деформації суфозійного ґрунту, побудувати інтегральні криві гранулометричного складу суфозійного ґрунту і проектного зворотного фільтра при наступних вихідних даних:

гранулометричний склад ґрунту:

Розмір частинок, мм	0,05-0,01	0,1-0,05	0,5-0,1	1-0,5	2-1	5-2	10-5	20-10	40-20
Вміст частинок, % за масою	8,2	2,7	22	18,7	19,3	14,7	7,4	5,4	1,6

$n$  – пористість,  $n = 0,32$  ;

$\rho_{с.г.}$  – щільність сухого ґрунту,  $\rho_{с.г.} = 1,80 \text{ г/см}^3$  ;

$I$  – градієнт напору ґрунтового потоку,  $I = 0,45$  ;

$\theta$  – кут між напрямками сили тяжіння і швидкості фільтрації,  $\theta = 75^\circ$  ;

матеріал фільтра – щебеневий ґрунт, коефіцієнт неоднорідності  $\eta_\phi = 10$ .

### **Порядок розрахунку**

1. У напівлогарифмічному масштабі будують графік інтегральної кривої гранулометричного складу ґрунту, який захищається, на горизонтальній осі якого відкладають діаметр частинок, а на вертикальній – сумарний вміст частинок фракцій (рис. 1.2).

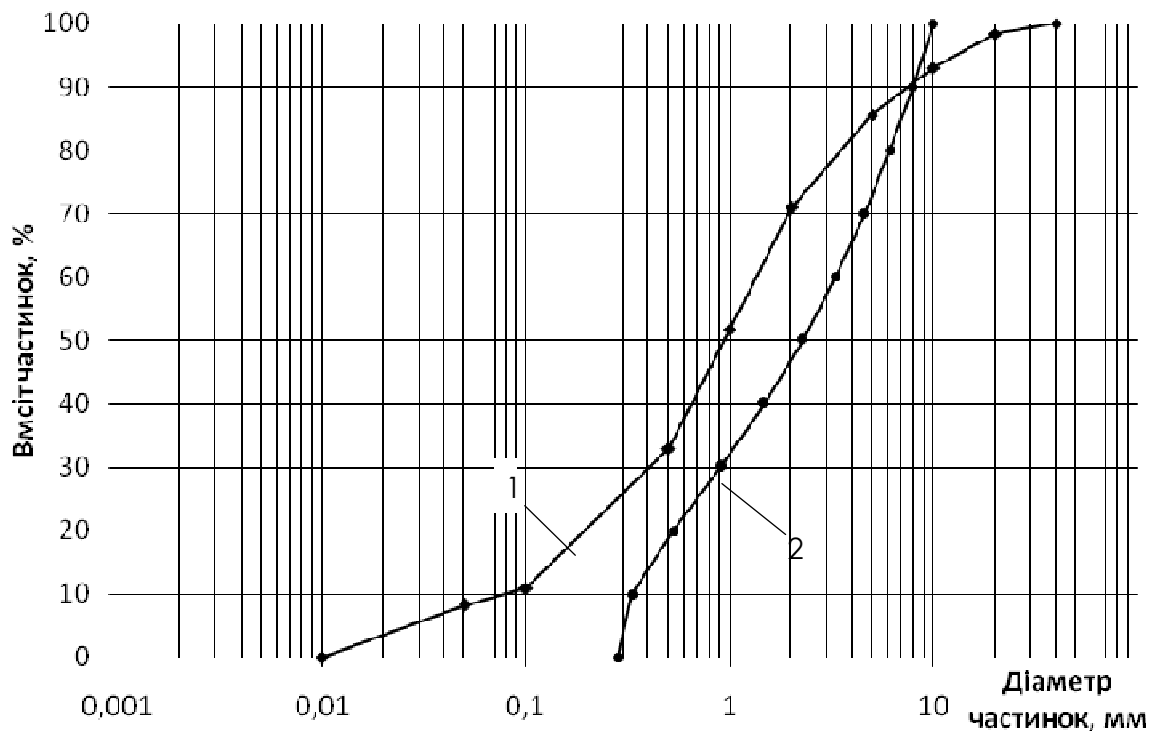


Рис. 1.2 Інтегральні криві гранулометричного складу:

1 – ґрунту, який захищається, 2 – матеріалу зворотного фільтру

2. За кривою гранулометричного складу ґрунту визначають значення діаметрів частинок, які необхідні для подальших розрахунків:

$d_{\min} = 0,01$  мм,  $d_3 = 0,018$  мм,  $d_{10} = 0,08$  мм,  $d_{17} = 0,16$  мм, ,  $d_{60} = 1,4$  мм,  $d_{\max} = 40$  мм.

3. Розраховують коефіцієнт неоднорідності ґрунту:

$$\eta_{60} = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{1,4}{0,08} = 17,5$$

4. Підставивши у залежність (15) числові значення відповідних параметрів, визначають коефіцієнт фільтрації, значення  $v$  відповідає температурі 20°C:

$$K = \frac{3,99 \cdot 1}{0,01} \cdot \sqrt[3]{17,5} \frac{0,32^3}{(1 - 0,32)^2} \cdot 0,016^2 = 0,0188 \text{ см/с}$$

5. Максимальний діаметр порового каналу розраховують за формулою (2):

$$d_{\max}^o = 0,455 \cdot 1,875 \cdot \sqrt[6]{17,5} \cdot \frac{0,32}{0,32 - 1} \cdot 0,016 = 0,01035 \text{ см}$$

при цьому  $\chi = 1 + 0,05 \cdot 17,5 = 1,875$

6. Максимальний розмір суфозійних частинок визначають за залежністю (3):

$$d_{\max}^c = 0,77 \cdot 0,01035 \text{ см} = 0,00797 \text{ см}$$

7. Відсотковий склад суфозійних частинок знаходять за інтегральною кривою зернового складу. При  $d_{\max}^c = 0,008 \text{ см} = 0,08 \text{ мм}$  воно складає 10 %. Це дає підставу оцінити даний ґрунт як суфозійний.

8. За залежністю (4) розраховують критичну швидкість для максимального діаметру суфозійних частинок:

$$V_{\text{кр}}^c = 0,098 \cdot 0,00797 \sqrt{\frac{0,32 \cdot 981}{0,01} \cdot 0,0188} = 0,019 \text{ см/сек}$$

Із залежностей (5), (6):

$$f^* = 0,82 - 1,8 \cdot 0,32 + 0,0062 (17,5 - 5) = 0,32$$

$$\varphi_o = 0,6 \left( \frac{1,8}{1} - 1 \right) 0,32 \cdot \sin \left( 30^\circ + \frac{75^\circ}{8} \right) = 0,098$$

9. Фактичну швидкість руху фільтраційного потоку знаходять згідно залежності закону лінійної фільтрації:

$$V_{\phi} = K \cdot I = 0,019 \cdot 0,45 = 0,00855 \text{ см/с}$$

10. Порівнюють отримані значення фактичної і критичної швидкості фільтраційного потоку. Оскільки  $V_{\phi} < V_{\text{кр}}$ , за залежністю (7) розраховують максимальний діаметр суфозійних частинок, для яких фактична швидкість буде критичною:

$$d_{\max}^c = \frac{0,00855}{0,098 \sqrt{\frac{0,32 \cdot 981}{0,01} \cdot 0,019}} = 0,00356 \text{ см}$$

11. За інтегральною кривою визначають відсотковий вміст суфозійних частинок при фактичній швидкості фільтраційного потоку, яке дорівнює 7,0 %.

Таким чином, даний ґрунт за існуючою класифікацією відноситься до суфозійного і під час руху в ньому фільтраційного потоку при заданому градієнті напору відбуватимуться суфозійні явища.

12. За залежністю (8) визначають  $d_{17}$  матеріалу фільтра:

$$d_{17} = \frac{1}{0,252 \cdot \sqrt[6]{10}} \cdot \frac{1-0,35}{0,35} \cdot 0,09 = 0,452 \text{ мм}$$

Із залежностей (9) и (10):

$$n_{\phi} = 0,45 - 0,1 \cdot \lg 10 = 0,35;$$

$$d_{c.ч.} = 5 \cdot 0,018 = 0,09 \text{ мм}$$

13. Мінімальний діаметр частинок зворотного фільтра знаходять за залежністю (13):

$$d_{\min} = \frac{0,452}{1 + (0,1 \cdot 17)^{2,28} \cdot \frac{10-1}{5 \cdot 10}} = 0,282 \text{ мм}$$

$$\text{де } \chi = 1 + 1,28 \lg 10 = 2,28.$$

14. За залежністю (14) розраховують  $i$ -й діаметр частинок матеріалу фільтра:

$$d_{10} = 0,282 + 0,282 \cdot (0,1 \cdot 10)^{2,28} \cdot \frac{10-1}{5 \cdot 10} = 0,33 \text{ мм}$$

$$d_{20} = 0,282 + 0,282 \cdot (0,1 \cdot 20)^{2,28} \cdot \frac{10-1}{5 \cdot 10} = 0,528 \text{ мм}$$

$$d_{30} = 0,90 \text{ мм}, d_{40} = 1,48 \text{ мм}, d_{50} = 2,27 \text{ мм}, d_{60} = 3,30 \text{ мм},$$

$$d_{70} = 4,57 \text{ мм}, d_{80} = 6,09 \text{ мм}, d_{90} = 7,88 \text{ мм}, d_{100} = 9,95 \text{ мм}.$$

За результатами розрахунку будують інтегральну криву зернового складу матеріалу зворотного фільтра, яка показана на рис. .

15. Коефіцієнт фільтрації зворотного фільтра визначають за залежністю (15):

$$K = \frac{3,99 \cdot 0,4}{0,01} \cdot \sqrt[3]{10} \cdot \frac{0,35^3}{(1-0,35)^2} \cdot 0,0452^2 = 0,071 \text{ см/сек}$$

16. Визначають товщину шару зворотного фільтра за залежністю (16):

$$T_{\min} = 7 \cdot 7,0 = 49 \text{ мм} = 4,9 \text{ см},$$

де  $d_{85}$ , згідно кривої для зворотного фільтру, складає 7,0 мм.

За умовами виробництва робіт при механічному укладанні товщина шару зворотного фільтру має бути не менше 20 см.

## **1.2 Проектування дренажу для зниження рівня ґрунтових вод**

### ***Загальні засади гідрогеологічних розрахунків дренажних систем***

Дренажні системи на підтоплених територіях повинні забезпечити необхідне зниження рівнів ґрунтових вод, яке визначається заглибленням підвальних приміщень, тунелів, комунікацій та інших підземних споруд, а при захисті значних за площею території – нормою осушення.

Тип дренажу – горизонтальний, вертикальний, комбінований – залежить, головним чином, від літологічної будови ґрунтів, що дрениються, а на забудованих ділянках – ще й від щільності та характеру забудови. Перевагу слід завжди віддавати горизонтальному дренажу як більш зручному й економічному під час експлуатації.

Гідрогеологічні розрахунки включають визначення:

- притоку води з кожної дрени,
- положення поверхні (глибини) понижених рівнів,
- часу досягнення необхідних понижень на території, що дрениється,
- міждренних відстаней.

У багатьох випадках міждренні відстані вибираються, виходячи з технічної можливості прокладки дрен, тоді необхідно визначати величину необхідного пониження в них, тобто заглиблення дрен.

При гідрогеологічних розрахунках дренажних систем враховують будову водоносних горизонтів і характер їх меж, умови природного і техногенного (додаткового) живлення і дронування підземних вод, а також ступінь гідродинамічної недосконалості дренажних споруд (розкритості водоносного горизонту). Дренажі вертикального типу, як правило, є досконалими, тобто такими, що розкривають водоносний пласт на всю його товщину і заглиблені у

водотривкий пласт, що підстиляє. Серед горизонтальних дренажів переважають недосконалі, коли дренажні труби заглиблені у водоносну товщу на деяку глибину, але поверхня їх закладання знаходиться вище покрівлі водотривкого шару.

### ***Розрахунки конструкції горизонтального систематичного дренажу***

На промислових майданчиках підприємств основним способом захисту окремих будівель, комунікацій або території в цілому від підземних вод є спорудження дренажів, яке повинно здійснюватися у поєднанні з заходами щодо організації поверхневого стоку, усунення втрат води з водонесучих комунікацій, водовмісних ємностей та ін.

Горизонтальний площадний дренаж є найбільш зручним і економічним в експлуатації. При облаштуванні дренажу на дно дренажної канави кладеться дренажна перфорована труба, яка вкрита нержавіючої сіткою. Щоб зменшити фільтраційний опір дренажної труби, її відсипають добре фільтруючим матеріалом (гравій, пісок), так щоб крупніший матеріал прилягав до труби. Потім дренажну канаву засипають вибраним із неї ґрунтом. У закритому горизонтальному дренажі можливості водопониження обмежені глибиною дренажних канав (максимальна глибина дренажної канави 4,5 - 5 м). Води з дрен пропонується направляти в зливову каналізацію після проведення її ремонту та реконструкції. Практичний розрахунок площадного дренажу зводиться до визначення відстані між дренами і підрахунку їх дебіту (рис. 1.3).

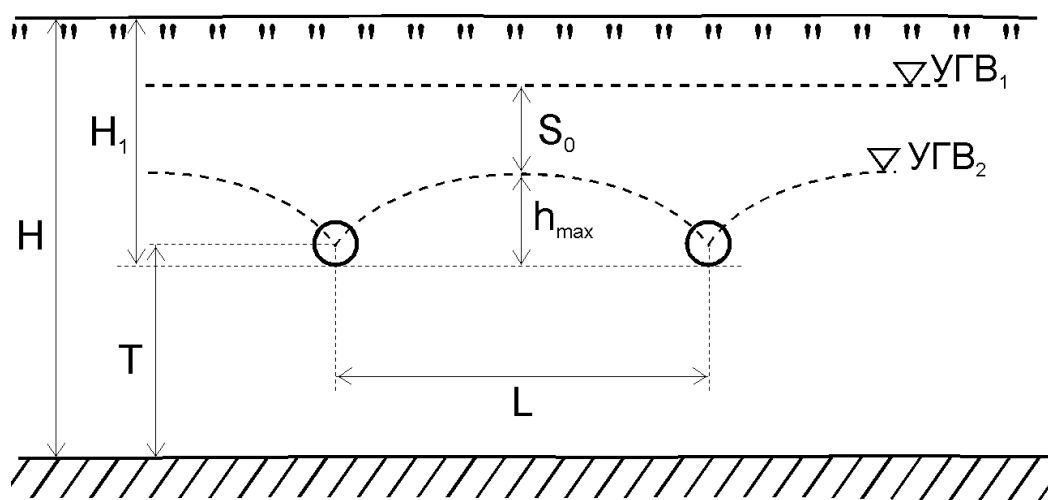


Рис. 1.3 Горизонтальний систематичний дренаж недосконалого типу

де  $УГВ_1$  – положення рівня ґрунтових вод до установки дренажу;

$УГВ_2$  – положення рівня ґрунтових вод після водопониження;

$S_0$  – норма осушення;

$H_1$  – глибина поверхні закладання дрен;

$H$  – глибина залягання водотриву від поверхні землі;

$T$  – відстань від центра дрени до водотриву;

$h_{\max}$  – максимальна висота підйому зниженого рівня ґрунтових вод над поверхнею закладання дрен;

$L$  – відстань між двома сусідніми дренами.

Відстань між дренами недосконалого типу можна визначити за формулою Авер'янова:

$$L = T \cdot \left( \sqrt{\frac{8Kh_{\max}}{WT} \left(1 + \frac{h_{\max}}{2T}\right) + B_1^2} - B_1 \right)$$

де  $K$  – коефіцієнт фільтрації водовмісних порід, м/добу;

$W$  – величина додаткового інфільтраційного живлення на території, м/добу;

$h_{\max}$  – максимальна висота підйому зниженого рівня ґрунтових вод над поверхнею закладання дрен, м;

$T$  – відстань від центру дрени до поверхні водотриву, м;

$$B_1 = 2,94 \lg \left( \frac{1}{\sin \frac{\pi r}{2T}} \right);$$

$r$  – радіус дрени, м

Приток води до кожної горизонтальної дрени на одиницю її довжини становить:

$$Q = W \cdot L \quad [\text{м}^2/\text{добу}]$$

Дебіт кожної дрени, відповідно, становить:

$$Q = S \cdot W \cdot L \quad [\text{м}^2/\text{добу}]$$

де  $S$  – довжина ділянки дрени, м



Для систематичного досконалого дренажу відстані між горизонтальними дренами визначаються за формулою Роте:

$$L = 2\sqrt{\frac{K}{W}(h_{\max}^2 - h_0^2)}$$

де:

$K$  – коефіцієнт фільтрації, м/добу;

$h_{\max}$  – максимальна висота зниженого рівня підземних вод у міждренному просторі над водотривом, м;

$h_0$  – перевищення рівня води у дрени над водотривом, м;

$W$  – інфільтраційне живлення підземних вод, м/добу

$$h_{\max} = H - (h_1 + h_2)$$

де:

$h_1$  – глибина залягання ґрунтових вод, м;

$h_2$  – глибина, на яку необхідно понизити рівень ґрунтових вод, м;

$H$  – відстань від поверхні землі до водотриву, м.

Значення  $W$  встановлюється дослідним шляхом на основі режимних спостережень. Орієнтовні значення величини інфільтраційного живлення для підприємств різних галузей наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Величина додаткового інфільтраційного живлення

Характер об'єкту	Величина додаткового інфільтраційного живлення $W$ , м/добу
Теплові електростанції	від $1 \cdot 10^{-4}$ до $2 \cdot 10^{-3}$
Металургійні заводи	$(3 \div 5) \cdot 10^{-4}$
Хімічні, нафтохімічні і нафтопереробні заводи	$(1 \div 2) \cdot 10^{-4}$
Гірничо-збагачувальні комбінати	від $4 \cdot 10^{-5}$ до $0,7 \cdot 10^{-4}$
Міські території	$(5,2 \div 5,8) \cdot 10^{-4}$

### ***Приклад розрахунку дренажної системи***

На промайданчику заводу підйомно-транспортного устаткування близько 15-20% території (5 га) зазнає підтоплення. Для машинобудівних підприємств величина додаткового інфільтраційного живлення  $W$  становить  $10^{-3}$  м/добу. Максимальний рівень ґрунтових вод становить 0,7 м. Відстань від поверхні землі до водотриву  $H = 10$  м.

Із урахуванням того, що на підтопленій території достатньо простору для облаштування горизонтального дренажу, а дренаючі ґрунти високопроникні

(пісок, супісок, легкі суглинки, коефіцієнт фільтрації  $K$  приймаємо 0,2 м/добу), для ліквідації підтоплення і зниження рівня ґрунтових вод пропонується встановити закритий систематичний горизонтальний дренаж недосконалого типу. При цьому можлива довжина ділянки дрени складе 175 м.

Виконаємо розрахунок горизонтального систематичного дренажу недосконалого типу. При практичному розрахунку площі систематичного дренажу все зводиться до визначення відстані між дренами і підрахунку їх дебіту (водотоку). У закритому горизонтальному дренажі можливості водозниження обмежені глибиною дренажних каналів (максимальна глибина дренажної канави 4,0 - 5,0 м). У розрахунку приймаємо  $H_1 = 4,5$  м.

Оскільки фундаменти виробничих приміщень розміщені до глибини 2,5 м, РГВ після осушення має скласти не менше 3,5 м від поверхні землі. Відповідно величина, на яку необхідно знизити рівень ґрунтових вод (норма осушення), дорівнює:

$$S_o = 3,5 - 0,7 = 2,8 \text{ м.}$$

При цьому максимальне перевищення зниженого рівня ґрунтових вод над поверхнею закладення дрени  $h_{\max}$  складе:

$$h_{\max} = 4,5 - 0,7 - 2,8 = 1,0 \text{ м.}$$

Відстань від центру дрени до водотриву, з урахуванням радіуса дренажних труб, складає:

$$T = H - H_1 + r = 10 - 4,5 + 0,25 = 5,75 \text{ м.}$$

Тепер розрахуємо відстань між двома сусідніми дренами за формулою Авер'янова:

$$L = T \cdot \left( \sqrt{\frac{8Kh_{\max}}{WT} \left( 1 + \frac{h_{\max}}{2T} \right)} + B_1^2 - B_1 \right) = 82,2 \text{ м}$$

де  $B_1$  становить 3,43.

При цьому водоприток кожної дрени складе:

$$Q = S \cdot W \cdot L = 175 \cdot 0,001 \cdot 82,2 = 14,4 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Якщо розміри ділянки осушуваної території складають 5 га (50 000 м<sup>2</sup>) при можливій довжині дрени 175 м, то загальна кількість дрени, необхідна для укладки, складе:

$$50000 / 175 / 82,2 = 3,5 \approx 4 \text{ труби.}$$

Води з дрени пропонується направляти в голову очисних споруд.

## **2. Інженерно-геологічний і геолого-екологічний прогноз на базі моніторингу**

### **2.1 Основи визначення інженерно-геологічних ризиків**

Будівництво завжди пов'язане з ризиком. Основні фактори ризику – інженерно-геологічні, пов'язані з геологічними процесами (просідання, підтоплення, зсуви) і властивостями ґрунтів основ майбутніх будівель і споруд.

Для урахування цих факторів проводять інженерно-геологічні вишукування. Для цього бурять свердловини на будівельному майданчику і відбирають проби для лабораторних і натурних досліджень. Найбільш достовірні дані можуть бути отримані при відборі нескінченно великої кількості проб. Але на практиці це не представляється можливим, оскільки дуже є дуже затратним. Кількість відбираються проб обмежують, воно залежить від неоднорідності ґрунтів, необхідної точності визначення характеристик, стадії проектування і встановлюють його на підставі нормативів.

При проектуванні основ і фундаментів будівель і споруд використовують: фізичні характеристики ґрунтів – вологість, пористість і щільність і міцність - модуль деформації, питоме зчеплення і кут внутрішнього тертя для нескельних ґрунтів, і тимчасовий опір одноосному стиску для скельних ґрунтів.

Для отримання достовірних значень характеристик ґрунтів, проводять статистичну обробку приватних значень.

Основною інженерно-геологічної одиницею, для якої проводять статистичну обробку значень характеристик ґрунтів, є інженерно-геологічний елемент (ІГЕ).

ІГЕ – це деякий об'єм ґрунту одного і того ж номенклатурного виду з урахуванням віку, походження та текстурно-структурних особливостей за умови, що значення характеристик ґрунтів у ньому змінюються незакономірно.

Допускається незначна закономірність зміни: у межах ІГЕ коефіцієнт варіації закономірно змінюється, його характеристики не повинні перевищувати таких величин:

- для фізичних характеристик - 0,15;
- для міцності – 0,30.

Якщо коефіцієнт варіації перевищує ці значення, здійснюють подальше розчленування ІГЕ таким чином, щоб для знову виділених ІГЕ він не перевищував наведених величин.

При виділенні ІГЕ використовують такі показники ґрунтів:

- для великоуламкових ґрунтів – гранулометричний склад (додатково загальну вологість і вологість заповнювача для великоуламкових ґрунтів з глинистим заповнювачем);
- для піщаних ґрунтів – гранулометричний склад, коефіцієнти пористості (додатково вологість для пилюватих пісків);
- для глинистих ґрунтів – характеристики пластичності (межі і число пластичності), коефіцієнт пористості і вологість.

Після визначення характеристик ґрунтів визначають характер просторової мінливості показників властивостей ґрунтів за площею (плані) і з глибиною. Для цього на плані та розрізах наносять значення характеристик в точках їх визначення і будують графіки їх розсіювання. Якщо встановлено, що зміна характеристик незакономірна, значить ІГЕ виділені правильно.

Найменування ґрунту встановлюють на підставі діючої номенклатури ґрунтів.

За єдиний інженерно-геологічний елемент допускається приймати ґрунти, представлені часто змінюються тонкими шарами (не більше 20 см) і лінзами ґрунти різного номенклатурного виду. Шари і лінзи, складені рихлими пісками, глинистими ґрунтами з консистенцією більше 0,75 і заторфованими ґрунтами, виділяють в окремі ІГЕ незалежно від їх товщини. Приклад виділення ІГЕ на конкретному розрізі будівельного майданчика наведено на рис. 2.1

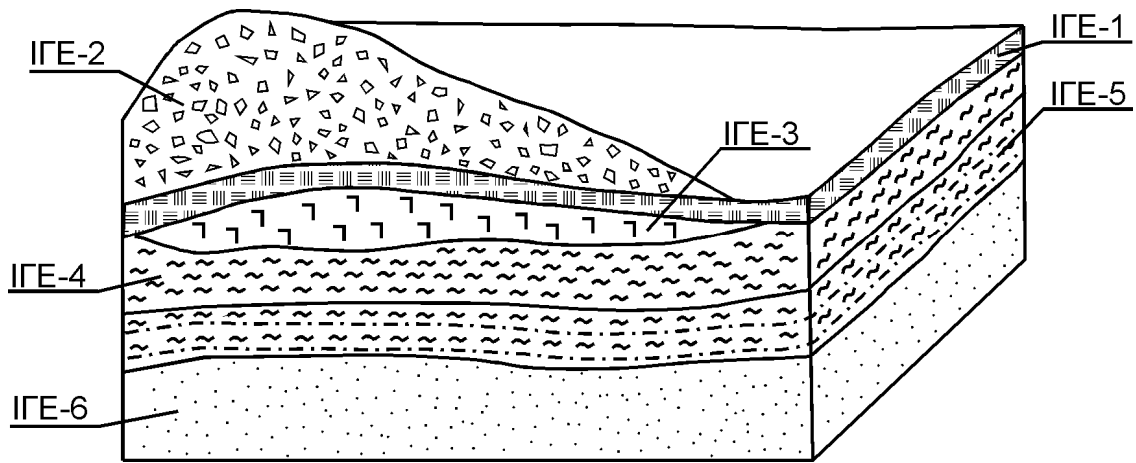


Рис. 2.1 Інженерно-геологічні елементи на будівельному майданчику:

ІГЕ-1 – ґрунтовий шар товщиною 0,2 – 0,4 м; ІГЕ-2 – техногенні відклади (промвідходи, будівельні відходи); ІГЕ-3 – поклади торфу товщиною 0,1 – 0,5 м; ІГЕ-4 – буруватий суглинок товщиною 1,5 м; ІГЕ-5 – чередування алевролітів і глинистих порід з потужністю шарів 0,1 – 0,2 м, загальна товщина 3,5 м; ІГЕ-6 – глинисті дрібнозерністі піски

## 2.2 Визначення нормативних і розрахункових значень характеристик ґрунтів при інженерно-геологічних вишукуваннях

Після поділу ґрунтів основи на ІГЕ, проводять для них статистичну обробку окремих значень характеристик ґрунтів за наступною методикою.

1. Визначають середньоарифметичне значення:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{A} - A_i)^2}$$

Коефіцієнт варіації:

$$V = \frac{\bar{S}}{\bar{A}}$$

де  $A_i$  – окремі значення характеристик ґрунту;  $n$  – кількість визначень.

Далі проводять статистичну перевірку на виключення грубих помилок. Виключають ті окремі значення  $A_i$ , для яких не виконується така умова:

$$|\bar{A} - A_i| < v \cdot \sigma_{\text{см}}$$

$\bar{A}$  – середнє арифметичне значення характеристики,

$v$  – статистичний критерій, що приймають у залежності від числа визначень  $n$ :

якщо $n = 6$	$v = 2,07$
якщо $n = 7$	$v = 2,18$

$\sigma_{\text{см}}$  – зміщена оцінка середнього квадратичного відхилення характеристики, що обчислюється за формулою:

$$\sigma_{\text{см}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (\bar{A} - A_i)^2}$$

Після виключення грубих помилок розрахунки статистичних параметрів повторюють за наведеною методикою.

За нормативне значення для всіх характеристик ґрунтів, крім питомого зчеплення і кута внутрішнього тертя, приймають середнє арифметичне значення:

$$A^{\text{н}} = \bar{A}$$

Розрахунок нормативних значень питомого зчеплення і кута внутрішнього тертя проводять за методом найменших квадратів.

Нормативні значення характеристик використовують при виділенні у розрізі ІГЕ, при класифікації ґрунтів, визначенні найменування ґрунту.

Розрахункові значення характеристик ґрунтів використовують при проектуванні основ і фундаментів будівель і споруд. Розрахункові значення обчислюють за такими залежностями:

$$A^{\text{розрах.}} = \frac{A^{\text{н}}}{K^{\text{г}}} = A^{\text{н}}(1 \pm \rho)$$

де  $K^{\text{г}}$  – коефіцієнт безпеки по ґрунту, який визначається за формулою:

$$K^r = \frac{1}{1 \pm \rho}$$

де  $\rho$  – показник точності середнього значення характеристики, обчислюється за залежністю:

$$\rho = \frac{t_{\alpha} \cdot V}{\sqrt{n}}$$

де  $t_{\alpha}$  – коефіцієнт, який приймається згідно ДСТУ у залежності від числа ступенів свободи:  $K = n - 1$

$K$	$t_{\alpha}$
3	1,25
4	1,19
5	1,16
6	1,13

Знак у формулах перед величиною  $\rho$  приймають таким, щоб забезпечувалася велика надійність даного розрахунку основи або фундаменту (наприклад, збільшення природної вологості ґрунту знижує його несучу здатність, тому для більшої надійності розрахунку необхідно отримати найгірше значення цієї характеристики, тобто  $\rho$  слід додати).

## **Перелік питань до самостійної підготовки**

1. Підходи до оцінки інженерно-геологічного та екологічного ризику при освоєнні територій (будівництві об'єктів)
2. Карстово-суфозійні процеси і захист від них забудованих територій
3. Просадочні явища та їх причини. Інженерний захист об'єктів при будівництві на просадних ділянках
4. Причини виникнення підтоплення на урбанізованих територіях
5. Заходи щодо запобігання підтоплень забудованих територій
6. Фактори, що впливають на зміну рівня ґрунтових вод
7. Селі (грязьові потоки) і захист від них територій
8. Зсувоутворення і захист територій від зсувів
9. Прогнозування небезпечних геологічних процесів. Еколого-геологічний прогноз. Нормативний прогноз
10. Зміна сейсмічності територій в результаті техногенних процесів. Особливості будівництва в сейсмонебезпечних районах.
11. Роль водосховищ у зміні міського середовища
12. Водна ерозія, заходи щодо попередження її розвитку та відновленню еродованих територій.
13. Абразійні процеси та заходи щодо захисту від прибережних територій
14. Суфозійний деформації в ґрунтах та інженерні рішення щодо їх запобігання
15. Вплив підприємств енергетики на зміну геологічного середовища
16. Прискорення процесів вивітрювання в гірничодобувних районах. Вплив відвалів на прилеглі території
17. Вплив водних меліорацій на зміну геологічного середовища в Україні
18. Вплив осушувальних меліорацій на зміну геологічного середовища
19. Затоплення території міст, його причини та заходи щодо захисту
20. Зміна фізичних полів на урбанізованих територіях і їх вплив на геологічне середовище.



## Список рекомендованих джерел

1. Дегтярев Б.М. Дренаж в промышленном и гражданском строительстве. – М.: Стройиздат, 1990. – 238 с.
2. ДСТУ Б А.1.1-25-94. Грунти. Терміни та визначення.
3. ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95). Грунти. Класифікація.
4. ДСТУ Б В.2.1-5-96 Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань.
5. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти: Підручник / М. Л. Зоценко, В. І. Коваленко, А. В. Яковлєв, О. О. Петраков, В. Б. Швець, О. В. Школа, С. В. Біда, Ю. Л. Винников. – Полтава: ПНТУ, 2003. – 446 с.
6. Инженерная геология: Учебн. для вузов / В. П. Ананьев, А. Д. Потапов. – 3-е изд. перераб. и испр. – М.: Высшая школа, 2005. – 575 с.
7. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях: Справочное пособие к СНиП. – М.: Стройиздат, 1991. – 272 с.
8. СНиП 2.01.15-90. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов / Госстрой СССР. – М.: Ц'111, 1991.
9. СНиП 2.06.15-85 Инженерная защита территории от затопления и подтопления: утвержд. постанов. Госстроя СССР от 19 сентября 1985 г. № 154.

Навчальне видання

Методичні вказівки

до практичних занять і самостійної роботи

з навчальної дисципліни

**«Інженерна літоекологія міст»**

(для студентів 5 курсу денної і 5-6 курсу заочної форм навчання  
напряму підготовки 0708 «Екологія» спеціальності  
7.04010601 «Екологія та охорона навколишнього середовища»)

Укладачі: **БРИГІНЕЦЬ** Катерина Данилівна,  
**ДЯДІН** Дмитро Володимирович

Відповідальний за випуск *к.т.н., доц. В. М. Ладизженський*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Ю. Ю. Конюшенко*

План 2010, поз. 94М

---

Підп. до друку 08.06.2011 р.

Формат 60×84/16

Друк на ризографі.

Ум.-друк. арк. 1,3

Зам. №

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12.05.2011 р.